

УДК 621.431

Д.М. Гудков¹, І.В. Тихонов²¹ Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, Київ² Департамент Державної інспекції України з безпеки на морському та річковому транспорті Міністерства інфраструктури України, Київ

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДЛЯ КОРИГУВАННЯ РЕЖИМУ ОБКАТКИ ДВИГУНІВ СУДНА

У статті представлені результати досліджень, пов'язаних з побудовою алгоритму оптимального управління процесом обкатки двигунів морських транспортних засобів за критерієм максимальної надійності на основі вивчення зв'язку між показниками двигуна в умовах експлуатації.

Ключові слова: двигун, обкатка, оптимальне управління, рівняння, математична модель.

Вступ

Одним з основних пристроїв морських транспортних засобів є двигуни внутрішнього згорання, які займають домінуюче становище при здійсненні експлуатації судна [1]. При цьому, двигун внутрішнього згорання є складним динамічним об'єктом зі змінними імовірнісними параметрами і випадковими початковими умовами. Технічні показники двигуна в процесі підробітки знаходяться в тісному взаємозв'язку зі станом керуючих параметрів (режимів підробітки) і зміна будь-якого з них вплине на інші показники, тобто двигун є багатовимірним і багатозв'язковим об'єктом.

Аналіз технічної літератури [1 – 3] показав, що найважливішим завданням судових механізмів є виявлення дефектів і несправностей, коли вони не виявляються. Більшість існуючих мають ті чи інші слабкі вузли, які певною мірою можуть перешкодити нормальній роботі в період експлуатації, якщо їх недоліки своєчасно не усунути [2]. Вивчення недоліків можливо тільки при ретельному і систематичному огляді та дослідженні вузлів механізмів, а також у період обкатки двигуна для пошуку таких недоліків, які відомі. Тому знаходження алгоритму оптимального керування для таких об'єктів традиційними методами дає складний і важко аналізований результат. У зв'язку вищевикладеним необхідно поставити задачу, пов'язану з пошуком оптимального прироблення механізмів з достатньою чутливістю та з урахуванням технологічних вимог. Однак даної літератури, присвяченої технічному обслуговуванню, ремонту механізмів рухових установок, налагодженню та їх експлуатації, явно недостатньо.

Постановка задачі. Таким чином, необхідно вирішити завдання пошуку алгоритму оптимального управління процесом обкатки за критерієм максимальної надійності на основі вивчення зв'язку між показниками двигуна в умовах експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Режим відкатки істотно впливає на подальшу роботу вузлів тертя деталей двигуна. Попередні дослідження показали, що оптимальне управління процесом обкатки дає можливість отримати значний економічний ефект без великих капітальних витрат.

Аналіз джерел [2, 3] показав, що математична модель двигуна може бути представлена у вигляді деякої «базової» моделі з параметрами, залежними від управління та обурень

$$y = \varphi[\bar{F}(\bar{u}, f), t].$$

Ідентифікація об'єкта і моделі зводилася до визначення залежностей параметрів моделі від входів, при цьому використовувалися методи теорії планування експериментів [4]. Для формування керуючого впливу необхідно використовувати тільки ті показники, які характеризують технічний стан кожного двигуна без його розбирання: МС, РС, РМ і ν (момент опору, тиск стиснених газів, тиску масла і температура). Більш докладний аналіз інформаційної схеми двигуна показує, що процес прироблення описується рівняннями виду [3]:

$$T_i x_i + x_i = K_i \eta. \quad (1)$$

Параметри рівняння (постійна часу Т і коефіцієнт передачі К) залежать від цілого ряду чинників і зокрема, від обраного в якості керуючого впливу (η). Якщо уявити Т і К як функції швидкості обертання колінчастого валу

$$T_i = \lambda_i(\eta); \quad K_{уст} = \lambda_{i+1}(\eta),$$

то рівняння (1) набуде вигляду

$$\lambda_i(\eta) \frac{dx}{dt} + x = \lambda_{i+1}(\eta),$$

а математична модель двигуна може бути представлена у вигляді чотирьох рівнянь

$$\lambda_1(\eta) \frac{dM_C}{dt} + M_C = \lambda_2(\eta) \eta,$$

$$\lambda_3(\eta) \frac{dP_C}{dt} + P_C = \lambda_4(\eta)\eta, \lambda_5(\eta) \frac{dP_M}{dt} + P_M = \lambda_6(\eta)\eta,$$

$$T \frac{dV_{дв}}{dt} + V_{дв} = \beta(M_C + \alpha P_C)\eta,$$

або в загальному вигляді

$$\lambda_i \dot{x}_i + x_i = K_i \eta. \quad (2)$$

Результати аналізу показують, що для цілей синтезу можна обмежитися системою з двох рівнянь. При вирішенні задачі синтезу системи оптимального управління використовувався метод, заснований на узагальнених умовах інваріантності [1]:

$$\alpha_1 \dot{\varphi} + \alpha_0 \varphi = 0, \quad (3)$$

$$\varphi = \psi - x, \quad (4)$$

де α – вагові коефіцієнти; ψ – бажаний вихідний сигнал. При підстановці (4) в (1) і після перетворень одержимо

$$u_i = \lambda_i (\psi_i + \alpha_i' \varphi_i) + x_i. \quad (5)$$

Якщо в якості ідеального вихідного сигналу прийняти одиничний стрибок $\psi(t) = H(t - \tau)$, то $\psi(t) = H(t - \tau)$ при $t = \Delta \rightarrow 0$, тоді рівняння (3) з урахуванням (5) запишеться

$$u_i = \lambda_i \alpha_i \varphi_i + x_i. \quad (6)$$

Підставляючи отримане рівняння (6) в рівняння об'єкта (2) і враховуючи, що $\varphi = \psi - x$, після перетворень одержуємо рівняння системи регулювання

$$\frac{1}{\alpha} \dot{x}_i + x_i = x_{iуст}. \quad (7)$$

Рівняння (7) показує досить цікаву особливість застосовуваного методу синтезу. Незважаючи на те, що об'єкт є складним, з нелінійними параметрами, залежними від керуючих впливів, в цілому система регулювання описується лінійним рівнянням першого порядку [5]. Для отримання остаточної структури регулятора представимо функцію λ_i і K_i у вигляді лінійних розкладань

$$\lambda_i = \alpha_{i0} + \alpha_{i1}\eta, \quad K_i = b_{i0}/\eta + b_{i1}.$$

Після підстановки значень λ_i і K_i в систему (6) з урахуванням (2) отримаємо

$$\eta_i = \frac{\alpha_{i0}\alpha_i\varphi_i - b_{i0} + x_i}{b_{i1} - \alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i}. \quad (8)$$

Даний алгоритм справедливий тільки при постійних параметрах α і b . Враховуючи не ідентичність двигунів, величини коефіцієнтів α_{ij} і b_{ij} в рівняннях (8) необхідно представити

$$\alpha_{ij} = \bar{\alpha}_{ij} + \Delta\alpha_{ij}, \quad b_{ij} = \bar{b}_{ij} + \Delta b_{ij},$$

де $\bar{\alpha}_{ij}$, \bar{b}_{ij} – математичне сподівання; $\Delta\alpha_{ij}$, Δb_{ij} – поправки, значення яких буде залежати від безлічі факторів, що визначають технічний стан двигуна.

З урахуванням поправок рівняння системи (2) приймуть вигляд

$$[\alpha_{i0} + \Delta\alpha_{i0} + \eta(\alpha_{i1} + \Delta\alpha_{i1})] \dot{x}_i + x_i = b_{i0} + \eta(b_{i1} + \Delta b_{i1}).$$

Після перетворення отримаємо

$$[\alpha_{i0}b_{i1} + x_i\alpha_{i1} - b_{i0}\alpha_{i1} + \Delta\alpha_{i1}(b_{i1} - \alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i) + \Delta\alpha_{i1}(\alpha_{i0}\alpha_i\varphi_i + x_i - b_{i0})] \dot{x}_i - x_i\alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i = \alpha_{i0}\alpha_{i1}\varphi_i b_{i1} - b_{i0}\alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i + \Delta b_{i0}(b_{i1} + \alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i) + \Delta b_{i1}(\alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i + x_i - b_{i0}). \quad (9)$$

Рівняння системи (7) з урахуванням поправок запишуться так

$$(T + \Delta T) \dot{x}_i + x_i = (x_{iуст} + \Delta x_{iуст}), \quad (10)$$

де $T = 1/\alpha$, а його рішення

$$(T + \Delta T) \dot{x}_i + x_i = (x_{iуст} + \Delta x_{iуст}). \quad (11)$$

Порівнюючи (9) і (11), робимо висновки:

$$\Delta x_{уст} = \Delta b_{i0}(b_{i1} + \alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i) + \Delta b_{i1}(\alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i + x_i - b_{i0}),$$

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_{i0}(b_{i1} - \alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i) + \Delta\alpha_{i1}(\alpha_{i0}\alpha_i\varphi_i + x_i - b_{i0}).$$

Таким чином, дійсні значення вихідних характеристик об'єкта будуть відрізнятися від розрахункових, отриманих при осереднених значеннях коефіцієнтів α_{ij} і b_{ij} . Звичайно, що це призведе до зміни якості роботи системи, отже, і до необхідності вивчення впливу відхилень вихідних характеристик об'єкта на якість регулювання (виконання запропонованого алгоритму). Кількісно це властивість автоматизованих систем управління оцінюється за допомогою функцій чутливості, які визначаються як приватні похідні від рівнянь системи по змінним параметрам системи [2, 3, 5]. Виникає питання про дослідження отриманого алгоритму з позиції теорії чутливості, щоб з'ясувати наскільки точно отриманий алгоритм буде виконувати приписаний йому закон управління при зміні технічного стану об'єкта управління (двигуна). Для цього розкладемо отриманий вираз (11) в ряд Тейлора за ступенями Δx і Δt , тобто обчислимо функції чутливості по цим змінним. Нехтуючи членами ряду вищих порядків малості, отримуємо

$$x_i = [x_{iуст}(1 - e^{-\alpha t}) + x_{i0}e^{-\alpha t}] + (1 - e^{-\alpha t})\Delta x_{уст} + [te^{-\alpha t}(x_{уст} - x_{i0})\Delta\alpha]. \quad (12)$$

Було проведено моделювання (12). Були отримані результати, які досить узгоджуються з отриманими теоретичними даними.

Для обліку впливу варіацій параметрів двигунів введемо в рівняння (2) величину необхідної зміни оборотів $\Delta\eta_i$. Після підстановки скоригованих значень управліннь (з урахуванням $\Delta\eta$) і порівнюючи з (9) одержуємо вираз для

$$\Delta\eta = \frac{\Delta\alpha_{i0}(b_{i1} - \alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i) + \Delta\alpha_{i1}(\alpha_{i0}\alpha_i\varphi_i + x_i - b_{i0})}{\alpha_{i1}b_{i1} - \alpha_i^2\alpha_i\varphi_i + \Delta\alpha_{i1}b_{i1} - \Delta\alpha_{i1}\alpha_{i1}\alpha_i\varphi_i}.$$

Для знаходження значення $\Delta\eta_i$ необхідно визначити значення $\Delta\alpha_{i1}$ в процесі роботи автомата. Визначення даної величини в чому залежатиме від способу реалізації автомата. Аналіз показує, що найбільш зручним способом реалізації є система з еталонною моделлю.

Висновки по роботі

Таким чином, аналітичне конструювання з використанням узагальненого самонастроювання дозволило вирішити задачу синтезу оптимального регулятора обкатки двигуна при постійних його параметрах на основі розробки алгоритму автоматичного регулювання для коригування режиму обкатки двигунів (рухових установок) судна.

Застосування «чутливих» методів дозволяє врахувати вплив варіації параметрів двигуна, отримати адекватну модель системи автоматичного регулювання та вносити необхідні корективи в режими обкатки кожного двигуна для отримання максимальної експлуатаційної надійності.

Список літератури

1. Конкс Г.А. *Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта* / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.
2. Ефремов Л.В. *Теория и практика исследования крутильных колебаний силовых установок с применением компьютерных технологий* / Л.В. Ефремов. – СПб.: Наука, 2007. – 276 с.
3. Веников В.А. *Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебное пособие для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб и доп* / В.А. Веников. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.
4. Ким Д.П. *Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы* / Д.П. Ким. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.
5. Баранов А.П. *Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации* / А.П. Баранов, М.М. Раимов. – СПб.: Элмор, 1997. – 232 с.

Надійшла до редколегії 22.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.Л. Баранов, Київська державна академія водного транспорту, Київ.

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ РЕЖИМА ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СУДНА

Д.Н. Гудков, И.В. Тихонов

В статье представлены результаты исследований, связанных с построением алгоритма оптимального управления процессом обкатки двигательных установок морских транспортных средств по критерию максимальной надежности на основе изучения связи между показателями двигателя в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *двигатель, обкатка, оптимальное управление, уравнение, математическая модель.*

ALGORITHM OF AUTOMATIC CONTROL FOR ADJUSTMENT OF MODE OF ROLLING OF MOTIVE OPTIONS OF SHIP

D.M. Gudkov, I.V. Tikhonov

The results of researches, related to the construction of algorithm of optimum process of rolling of motive options of marine transport vehicles control on the criterion of maximal reliability on the basis of study of connection between the indexes of engine in the conditions of exploitation are presented in the article.

Keywords: *engine, rolling, optimum management, equalization, mathematical model.*